

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 247468 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **438382**

(22) Data zgłoszenia: **2021.07.08**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2023.01.09 BUP 02/2023**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2025.07.07 WUP 27/2025**

(51) MKP:

F16K 31/06 (2006.01)

F16K 37/00 (2006.01)

H01F 7/06 (2006.01)

H01F 7/18 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:

**DTP SPÓŁKA Z OGRANICZONĄ
ODPOWIEDZIALNOŚCIĄ, Zielona Góra, PL**

(72) Twórca(-y) wynalazku:

JAROSŁAW ŻOŁYŃSKI, Zielona Góra, PL

MARCIN CHCIUK, Nowa Sól, PL

MARIUSZ ŻYCIAK, Zielona Góra, PL

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Adam Pawłowski, Łódź, PL

(54) Tytuł:

Urządzenie do monitorowania pracy elektrozaworu i sposób monitorowania pracy elektrozaworu

PL 247468 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest urządzenie do monitorowania pracy elektrozaworu i sposób monitorowania pracy elektrozaworu, w szczególności przeznaczone do wykrywania nieprawidłowej pracy i uszkodzeń elektrozaworów, takich jak uszkodzenia cewki (przepalenie), zablokowania elementu mechanicznego elektrozaworu, a także wykrywanie zmian parametrów elektrozaworu, które mogą sygnalizować jego zużycie.

Podstawowym urządzeniem sterującym w przemysłowych systemach pneumatycznych są elektrozawory, w których sterowanie kierunkiem przepływu powietrza umożliwiające otwieranie i zamykanie elektrozaworu odbywa się poprzez zmianę położenia suwaka (połączonego z linorem elektromagnesu lub bez linora) przy pomocy pola elektromagnetycznego wytwarzanego w cewce elektromagnesu. Nieprawidłowa praca nawet jednego elektrozaworu skutkuje nieprawidłową pracą całego systemu, co w sytuacji gdy system zawiera wiele elektrozaworów skutkuje czasochłonnym i pracochłonnym wyszukiwaniem miejsca usterki. W związku z tym stosuje się urządzenia do monitorowania pracy elektrozaworów, których celem jest zidentyfikowanie elektrozaworów pracujących nieprawidłowo.

Jednym ze sposobów monitorowania prawidłowości pracy elektrozaworu jest pomiar zmian indukcyjności cewki elektromagnesu elektrozaworu. Takie rozwiązanie jest opisane w patencie europejskim EP0499419, gdzie przedstawiono prosty elektroniczny układ analogowy, porównujący wartości napięć na rezystorze pomiarowym prądu cewki podczas chwilowego spadku prądu w momencie prawidłowego zadziałania elektrozaworu. Sygnał z komparatora jest wykorzystywany do zasilania diody świecącej, sygnału akustycznego bądź centrali sterowania, dzięki czemu można szybko zidentyfikować potencjalny problem. Rozwiązanie przedstawione w patencie EP0499419 nie pozwala jednak na ocenę zmian sposobu pracy elektrozaworu, np. głębokości przesunięcia suwaka, czy tempa jego przesunięcia. Ponadto, prawidłowe działanie takiego układu monitorującego wymaga kalibracji (dostosowania elementów elektronicznych) w celu dopasowania czułości urządzenia do charakterystyki elektrozaworu, którego pracę ma monitorować. Układ ten nie zabezpiecza przed zwarcie w cewce. Ponadto, układ z EP0499419 sygnalizuje prawidłowe załączenie elektrozaworu, gdy wykryje spadek prądu płynącego przez cewkę, a taki spadek może być spowodowany załączeniem elektrozaworu, ale również: chwilowym spadkiem napięcia zasilania, przepaleniem cewki chwilę po załączeniu, czy zakłóceniem. W związku z tym, układ z EP0499419 jest podatny na różnego rodzaju niestabilności.

Znane są również rozwiązania cyfrowe, wykorzystujące układ mikroprocesorowy, przykładowo TIDA-01250 firmy Texas Instruments. Referencyjne rozwiązanie układu monitorowania cewki elektrozaworu skonstruowanego na bazie układu TIDA-01250 (www.ti.com/lit/pdf/tiduco6) odpowiada potrzebom przemysłowym, jednak nie jest na tyle uniwersalne, aby jedno urządzenie na podstawie tego rozwiązania referencyjnego mogło być stosowane dla cewek różnego rodzaju. W związku z tym, według rozwiązania referencyjnego należałoby opracować typoszereg urządzeń dostosowanych do określonych zakresów pracy różnych elektrozaworów.

Pożądanym byłoby opracowanie sposobu i urządzenia do monitorowania pracy elektrozaworów, które będzie na bieżąco monitorowało poprawność pracy elektrozaworu i sygnalizowało nieprawidłowości jego pracy, nie ingerując w konstrukcję samego elektrozaworu, przy czym będzie to rozwiązanie uniwersalne, przeznaczone do monitorowania wielu różnych elektrozaworów, bez konieczności dostosowywania jego parametrów do różnego rodzaju elektrozaworów. Wskazaniem byłoby, aby urządzenie to było na tyle zwarte, aby można było je umieścić we wtyczce przewodu zasilającego elektrozawór.

Przedmiotem wynalazku jest urządzenie do monitorowania pracy elektrozaworu, zawierające: układ zasilania cewki elektrozaworu, zawierający szeregowo połączone ze źródłem zasilania zaciski do przyłączenia cewki, tranzystor załączający zasilanie i rezystor pomiarowy; mikroprocesorowy układ pomiarowy przystosowany do monitorowania natężenia prądu zasilania pobieranego przez cewkę w trakcie jej załączania poprzez pomiar napięcia na rezystorze pomiarowym i do sterowania tranzystorem załączającym zasilanie. Mikroprocesorowy układ pomiarowy zawiera przetwornik analogowo-cyfrowy zawierający kanał pomiaru pobieranego prądu połączony do rezystora pomiarowego oraz kanał wzmacnionego pomiaru pobieranego prądu przyłączony do kanału pomiaru pobieranego prądu za pośrednictwem wzmacniacza regulowanego. Mikroprocesorowy układ pomiarowy jest przystosowany do: wyłączenia tranzystora załączającego zasilanie po wykryciu napięcia na kanale pomiaru pobieranego prądu wartości przewyższającej wartość progową; sterowania

wzmocnieniem wzmacniacza regulowanego tak aby sygnał na wejściu kanału wzmocnionego pomiaru pobieranego prądu był niższy od zakresu pomiarowego tego kanału.

Korzystnie, przetwornik analogowo-cyfrowy zawiera ponadto kanał pomiaru napięcia zasilania przyłączony do rezystancyjnego dzielnika napięcia połączonego pomiędzy napięciem zasilania a uziemieniem, a mikroprocesorowy układ pomiarowy jest przystosowany do monitorowania zakresu napięcia zasilania i wahań napięcia w momencie załączania zasilania.

Korzystnie, kanał pomiaru pobieranego prądu połączony jest do rezystora pomiarowego za pośrednictwem filtra dolnoprzepustowego.

Korzystnie, mikroprocesorowy układ pomiarowy zawiera ponadto interfejs wejścia/wyjścia przystosowany do odbioru parametru określającego wartość wzmocnienia wzmacniacza regulowanego.

Korzystnie, mikroprocesorowy układ pomiarowy jest ponadto przystosowany do sterowania wzmocnieniem wzmacniacza regulowanego tak aby sygnał na wejściu kanału wzmocnionego pomiaru pobieranego prądu był wyższy od progowej wartości minimalnej.

Korzystnie, mikroprocesorowy układ pomiarowy jest ponadto przystosowany do sterowania wzmocnieniem wzmacniacza regulowanego tak aby sygnał na wejściu kanału wzmocnionego pomiaru pobieranego prądu był niższy od progowej wartości maksymalnej.

Korzystnie, mikroprocesorowy układ pomiarowy jest ponadto przystosowany do sterowania wzmocnieniem wzmacniacza regulowanego tak aby sygnał na wejściu kanału wzmocnionego pomiaru pobieranego prądu po ustabilizowaniu się natężenia prądu cewki był jak najbliżej progowej wartości maksymalnej.

Korzystnie, urządzenie ma układy umieszczone na płycie PCB obudowanej wtyczką przystosowaną do przyłączenia zasilania do elektrozaworu.

Przedmiotem wynalazku jest ponadto sposób monitorowania pracy elektrozaworu, w którym to sposobie: podłącza się do cewki urządzenie zgodne z wynalazkiem; łączy się zasilanie tranzystora łącznie zasilającego; oczekuje się aż sygnał na wejściu kanału wzmocnionego pomiaru pobieranego prądu przekroczy próg wartości minimalnej; bada się nachylenie charakterystyki kanału wzmocnionego pomiaru pobieranego prądu i zapamiętuje się wartość sygnału tego kanału przy dojściu nachylenia do poziomu i na podstawie tej wartości określa się wartości minimalnego nachylenia, wartość graniczną przyrostu i wartość stabilizacji; gdy nachylenie spadnie do wartości poniżej minimalnego nachylenia, kontynuuje się badanie nachylenia do momentu kiedy kierunek nachylenia zmieni się z opadającego na rosnące i od tego momentu sprawdza się jest przyrost wartości sygnału tego kanału i gdy przekroczy on wartość graniczną przyrostu oczekuje się na ustabilizowanie się wartości natężenia prądu gdy różnica między maksymalną i minimalną wartością, w określonym czasie stabilizacji będzie mniejsza niż wartość stabilizacji; informuje się o prawidłowym łączeniu elektrozaworu jeśli wartość natężenia prądu ustabilizuje się w określonym końcowym czasie stabilizacji i ustabilizowanie natężenia prądu nie nastąpi później niż dopuszczalny całkowity czas łączenia od przekroczenia progu wartości minimalnej; oraz informuje się o awarii elektrozaworu jeśli wartość natężenia prądu nie ustabilizuje się przed upływem określonego czasu łączenia od przekroczenia progu wartości minimalnej.

Niniejszy wynalazek zapewnia sposób i urządzenie do monitorowania pracy elektrozaworów, poprzez śledzenie wartości natężenia prądu cewki elektrozaworu na podstawie badania zmian indukcyjności cewki w czasie. Dzięki zastosowaniu rozwiązań cyfrowych i uwzględnieniu parametru czasowego rozwiązanie według wynalazku zapewnia szersze możliwości diagnostyki niż znane dotychczas rozwiązania. W szczególności pozwala wykryć nieprawidłową charakterystykę łączenia elektrozaworu, co może być wczesnym sygnałem konieczności wymiany elektrozaworu jeszcze zanim ulegnie on usterce. Układ monitorujący zbudowany według niniejszego wynalazku może sygnalizować prawidłowe łączenie elektrozaworu (bądź brak prawidłowego łączenia), zabezpieczać w chwili zwarcia cewki źródło jej zasilania oraz elementy toru pomiarowego i sterującego łączeniem cewki (przez odcięcie zasilania uszkodzonej cewki), jak również sygnalizować zbyt niskie lub zbyt wysokie napięcie zasilania cewki (przez diodę LED lub interfejs IO-Link). Ponadto, rozwiązanie według niniejszego wynalazku nie tylko sygnalizuje prawidłowe łączenie elektrozaworu, ale również zmierzy parametry elektryczne i czasowe, które mogą być odczytywane przez system nadrzędny i użyte do oceny zmian pracy/zużycia elektrozaworu, czy zaplanowania konserwacji elektrozaworu.

Urządzenie według wynalazku mieści się w standardowych wtyczkach zasilających elektrozawory, dzięki czemu może być stosowane do elektrozaworów różnych producentów bez konieczności dostosowywania parametrów urządzenia do specyfiki danego elektrozaworu. Jednocześnie dzięki za-

stosowaniu podsystemu regulowanego wzmocnienia w torze pomiaru przebiegu natężenia prądu w czasie udało się uzyskać uniwersalność w kwestii współpracy z szerokim spektrum prądowym elektroza-
worów bez konieczności dostosowywania konstrukcji układu do różnych prądów pracy cewek.

Dzięki rozwiązaniu według wynalazku możliwe jest stosowanie tego samego fizycznego bocznika w postaci rezystora pomiarowego w torze pomiarowym prądu cewki dla bardzo zróżnicowanego zakresu prądów pracy cewek elektrozaworów dostępnych na rynku od wartości rzędu dziesiątek mA do kilku A, oraz umożliwia zastosowanie bocznika (rezystora) o niewielkiej rezystancji co w efekcie ogranicza ilość wydzielanego ciepła na tym boczniku.

Opisane we wstępie referencyjne rozwiązanie dla układu TIDA-01250, bez opisanej modyfikacji toru pomiarowego natężenia prądu cewki, oznaczałoby konieczność podzielenia warstwy fizycznej rozwiązania na dedykowane pakiety elektroniki do określonych zakresów pracy elektroza-
worów, ponieważ ze względu na zakres pomiarowy i rozdzielczość przetwornika ADC nie jest możliwa ocena prawidłowego przebiegu natężenia prądu cewki dla określonej rezystancji bocznika dla tak zróżnicowanych zakresów prądów pracy cewek elektrozaworów. Przy braku regulowanego wzmacniacza rezystancja bocznika i wzmocnienie wzmacniacza są dobrane optymalnie dla grupy cewek o określonym zakresie mocy znamionowej, a użycie takiego układu dla cewki różniącej się znacznie mocą znamionową od przyjętych założeń, powoduje, że zakres sygnał napięciowego odwzorowującego prąd cewki albo przekroczy zakres pomiarowy przetwornika ADC, albo będzie się zmieniał tylko w niewielkim zakresie pomiarowym przetwornika ADC, co w jednym i drugim przypadku spowoduje brak możliwości prawidłowej oceny kształtu natężenia prądu cewki przez algorytm procesora. To z kolei wyklucza uniwersalność rozwiązania w sensie komercyjnym – jeden moduł elektroniczny we wtyczce do wszystkich elektrozaworów.

Wynalazek został przedstawiony za pomocą przykładów wykonania na rysunku, na którym:

Fig. 1 przedstawia schemat funkcjonalny budowy układu do monitorowania elektrozaworu; a

Fig. 2A przedstawia przebieg sygnałów w układzie dla pierwszej przykładowej cewki;

Fig. 2B przedstawia przebieg sygnałów w układzie dla drugiej przykładowej cewki;

Fig. 3 przedstawia przykład montażu układu do monitorowania elektrozaworu we wtyczce zasilającej elektrozawór;

Fig. 4 przedstawia działanie algorytmu oceny natężenia prądu cewki.

Schemat funkcjonalny urządzenia według wynalazku został przedstawiony na Fig. 1.

Korzystnie, gdy elementy urządzenia są zamontowane we wtyczce zasilającej elektrozawór.

Urządzenie zawiera interfejs przyłączeniowy do cewki 10 elektrozaworu, obejmujący pierwszy terminal 100A przyłączony do napięcia zasilania 2L+ przystosowany do połączenia z pierwszym terminalem cewki 10 elektrozaworu i drugi terminal 100B przystosowany do połączenia z drugim terminalem cewki 10 elektrozaworu.

Urządzenie zawiera tranzystor 101 załączający zasilanie połączony pomiędzy drugim terminalem 100B a rezystorem pomiarowym 102 przyłączonym do potencjału GND układu. Tranzystor zasilający 101 jest korzystnie tranzystorem typu MOSFET. Tranzystor 101 załączający zasilanie dostarcza prąd do cewki w celu załączania i rozłączania elektrozaworu.

Napięcie na rezystorze pomiarowym 102 w punkcie 100C odzwierciedla natężenie prądu zasilania pobieranego przez cewkę w trakcie jej załączania. Napięcie to jest monitorowane przez mikroprocesorowy układ pomiarowy 110, który ponadto steruje tranzystorem 101 załączającym zasilanie cewki przez wyjście sterujące zasilaniem OUT.

Rezystor zabezpieczający 103 zabezpiecza tranzystor 101 załączający zasilanie przed przypadkowym załączeniem w początkowej fazie działania, po podaniu zasilania do układu, kiedy mikroprocesorowy układ pomiarowy 110 dopiero startuje, a wyjście sterujące zasilaniem OUT nie jest jeszcze kontrolowane przez mikroprocesorowy układ pomiarowy 110 i ustawione jako niespolaryzowane. W tym czasie, rezystor zabezpieczający 103 sprowadza bramkę tranzystora 101 załączającego zasilanie do potencjału GND, co zabezpiecza tranzystor 101 załączający zasilanie przed załączeniem. Kiedy mikroprocesorowy układ pomiarowy 110 wystartuje i skonfiguruje wyjście sterujące zasilaniem OUT, rezystancja rezystora zabezpieczającego 103 jest nieistotna przy sterowaniu tranzystorem 101 załączającym zasilanie.

Mikroprocesorowy układ pomiarowy 110 zawiera przetwornik analogowo-cyfrowy 111, w postaci pojedynczego przetwornika wielokanałowego lub zespołu wielu przetworników jednokanałowych lub ich kombinacji. Przetwornik analogowo-cyfrowy 111 ma trzy kanały: K1, K2, K3. Pierwszy kanał K1 jest przystosowany do pomiaru napięcia na dzielniku napięcia złożonym z połączonych szeregowo rezystorów 105, 106 przyłączonym pomiędzy napięciem zasilania 2L+ cewki a potencjałem GND. Sygnał

z przetwornika analogowo-cyfrowego 111 z pierwszego kanału K1 (zwanego też kanałem pomiaru napięcia zasilania) służy do oceny jakości napięcia zasilania, tj. czy napięcie jest w dopuszczalnym zakresie, czy występują wahania w momencie załączania zasilania elektrozaworu, które mogłyby wpłynąć na charakterystykę prądu załączania i nieprawidłowe wykrywanie załączenia elektrozaworu. Drugi kanał K2 (zwany też kanałem pomiaru pobieranego prądu) służy do pomiaru napięcia na rezystorze pomiarowym 102 po przefiltrowaniu przez filtr dolnoprzepustowy 104. Sygnał z filtra dolnoprzepustowego 104 jest podawany również do wzmacniacza regulowanego 109, którego wyjście jest przyłączone do trzeciego kanału K3 przetwornika analogowo-cyfrowego 111.

Napięcie na rezystorze pomiarowym 102 w punkcie 100C jest proporcjonalne do chwilowego natężenia prądu cewki. Sygnał ten może, oprócz napięcia proporcjonalnego do natężenia prądu cewki, zawierać również szumy (zakłócenia) z toru zasilania lub ze środowiska, w którym pracuje układ. Filtr dolnoprzepustowy 104 eliminuje te szumy, przepuszczając jedynie sygnał użyteczny o niższej częstotliwości, który jest podawany do drugiego kanału K2 przetwornika analogowo-cyfrowego 111 i do wejścia wzmacniacza regulowanego 109. Przykładowo, filtr dolnoprzepustowy może mieć częstotliwość graniczną równą 2000 Hz. Sygnał ze wzmacniacza regulowanego 109 podawany jest do trzeciego kanału K3 przetwornika analogowo-cyfrowego 111. Rezystor pomiarowy 102 ma stałą znaną wartość, stąd napięcie na drugim kanale K2 przetwornika analogowo-cyfrowego 111 jest proporcjonalne do natężenia prądu cewki, ze stałym współczynnikiem proporcji. Sygnał podawany do drugiego kanału K2 służy do wykrywania zwarcia w cewce 10 elektrozaworu i do wyliczania nowego wzmocnienia dla wzmacniacza regulowanego 109. Pojawienie się na drugim kanale K2 napięcia większego niż przyjęta wartość progowa uznana za próg zwarcia, powoduje natychmiastowe wyłączenie tranzystora 101 załączającego zasilanie, poprzez ustawienie wyjścia sterującego zasilaniem OUT w stan niski L. Sygnał na wejściu trzeciego kanału K3 przetwornika analogowo-cyfrowego 111 jest wzmocnionym we wzmacniaczu regulowanym 109 sygnałem podawanym z filtra dolnoprzepustowego 104 – tym samym, który podany jest do wejścia drugiego kanału K2. Wzmacniacz regulowany 109 pozwala na dopasowanie sygnału o małej wartości z filtra dolnoprzepustowego 104 do zakresu pomiarowego przetwornika analogowo-cyfrowego 111, aby z jak największą rozdzielczością monitorować przebieg sygnału natężenia prądu cewki 10. Dzięki temu, do układu mogą być dołączone cewki 10 o różnych mocach, co będzie powodowało przepływ prądów o różnych wartościach. Wzmocnienie we wzmacniaczu regulowanym 109 może być regulowane liniowo lub skokowo, w zależności od funkcjonalności użytego wzmacniacza regulowanego 109, a regulacja odbywa się przez wyjście sygnału wzmocnienia GAIN mikroprocesorowego układu pomiarowego 110, które może być wyjściem analogowym (takim jak sygnał z przetwornika cyfrowo-analogowego), jednym lub kilkoma wyjściami binarnymi pozwalającymi na skokową zmianę wzmocnienia lub interfejsem cyfrowym pozwalającym mikroprocesorowemu układowi pomiarowemu 110 zadawać wzmocnienie we wzmacniaczu regulowanym 109. Sygnał podłączony do wejścia drugiego kanału K2 przetwornika analogowo-cyfrowego 111 używany jest też (poza wykrywaniem zwarcia) do zgrubnego określenia natężenia prądu cewki w sytuacji, gdy dla bieżącego wzmocnienia wzmacniacza regulowanego 109 sygnał podany do wejścia trzeciego kanału K3 przetwornika analogowo-cyfrowego 111 przekracza jego zakres pomiarowy (sytuacja ta występuje na przykład po zmianie cewki 10 na cewkę większej mocy) i pomiary dla drugiego kanału K2 są używane do wyliczenia nowej nastawy wzmocnienia wzmacniacza regulowanego 109. Optymalne wzmocnienie wzmacniacza regulowanego 109 powinno być takie, aby sygnał na wejściu trzeciego kanału K3 przetwornika analogowo-cyfrowego 111, po ustabilizowaniu się natężenia prądu cewki 10, stanowił około 80% zakresu pomiarowego trzeciego kanału K3 przetwornika analogowo-cyfrowego 111. Pozostałe 20% (tj. przedział od 80%–100%) zakresu pomiarowego przetwornika analogowo-cyfrowego 111 stanowi margines pomiarowy dla możliwego wzrostu natężenia prądu cewki, wynikającego ze zmian napięcia zasilania, czy też ze zmian temperatury cewki lub otoczenia. Wzmacniacz regulowany 109 posiada co najmniej tyle możliwych stopni wzmocnienia, aby dla przewidzianego zakresu prądów cewek 10 sygnał na wejściu trzeciego kanału K3 przetwornika analogowo-cyfrowego 111 po ustabilizowaniu miał wartość z przedziału od przyjętej progowej wartości minimalnej LIMIT-MIN do progowej wartości maksymalnej LIMIT-MAX przykładowo równej około 80% zakresu pomiarowego przetwornika analogowo-cyfrowego 111, przy czym wartość minimalna LIMIT-MIN powinna być większa niż granica możliwości prawidłowego wykrywania załączenia, przykładowo 20% zakresu pomiarowego przetwornika analogowo-cyfrowego 111. Wskazane jest użycie wzmacniacza regulowanego 109, który będzie pozwalał ustawiać tak wzmocnienie, aby niezależnie od podłączonej do układu

cewki, sygnał na wejściu K3 przetwornika analogowo-cyfrowego 111, po ustabilizowaniu się natężenia prądu cewki 10, był jak najbliżej 80% zakresu pomiarowego przetwornika analogowo-cyfrowego 111.

Podane tu wartości 20% zakresu dla LIMIT-MIN i 80% zakresu dla LIMIT-MAX należy traktować przykładowo jako najbardziej korzystne, możliwe są również inne przykłady wykonania w których wartość LIMIT-MIN jest równa 10% lub 30%, a zamiast wartość LIMIT-MAX jest równa 90% lub 70%.

Jeśli sygnał na wejściu trzeciego kanału K3 przetwornika analogowo-cyfrowego 111 po ustabilizowaniu przekroczy 80%, to mikroprocesorowy układ pomiarowy 110 zmniejsza wzmocnienie wzmacniacza regulowanego 109 wykorzystując wyjście sygnału wzmocnienia GAIN. Jeśli sygnał na wejściu K3 przetwornika analogowo-cyfrowego 111 po ustabilizowaniu będzie poniżej wartości LIMIT-MIN to mikroprocesorowy układ pomiarowy 110 zwiększa wzmocnienie wzmacniacza regulowanego 109 wykorzystując wyjście sygnału wzmocnienia GAIN.

Mikroprocesorowy układ pomiarowy 110 zawiera ponadto interfejs wejścia/wyjścia 112 przyłączony do sterownika wejścia/wyjścia 108. Przez interfejs wejścia/wyjścia 112 użytkownik może ręcznie skonfigurować parametry (np. wzmocnienie) dla cewki elektrozaworu, z którą będzie współpracowało urządzenie – jest to szczególnie przydatne ze względu na to, że urządzenie przy pierwszym uruchomieniu z nową cewką wykonuje regulację wzmocnienia, co wiąże się z dwukrotnym załączeniem elektrozaworu w krótkim odstępie czasu. Takie działanie może być niewskazane dla maszyny w której pracuje elektrozawór. Ponadto, użytkownik może ustawić pewne specyficzne parametry, takie jak progi, dla których algorytm sprawdza kolejne warunki załączenia elektrozaworu.

Na Fig. 2A przedstawiono przykładowy przebieg sygnałów, gdy do układu podłączono cewkę o dużo większej mocy (większym natężeniu prądu) niż przy poprzednim załączeniu. Mikroprocesorowy układ pomiarowy 110, dostając przez interfejs IO-Link rozkaz załączenia elektrozaworu, ustawia wyjście sterujące zasilaniem OUT w stan wysoki H, co powoduje załączenie tranzystora 101 załączającego zasilanie i przepływ prądu przez cewkę, który to prąd powoduje spadek napięcia na rezystorze pomiarowym 102 (napięcie w punkcie 100C) proporcjonalnie do natężenia prądu cewki. Napięcie w punkcie 100C, po odfiltrowaniu zakłóceń w filtrze dolnoprzepustowym 104 podawane jest do wejścia drugiego kanału K2 przetwornika analogowo-cyfrowego 111, oraz do wejścia wzmacniacza regulowanego 109, natomiast sygnał ze wzmacniacza podawany jest do wejścia trzeciego kanału K3 przetwornika analogowo-cyfrowego 111. Ponieważ ustawione jest duże wzmocnienie we wzmacniaczu regulowanym 109, to sygnał na wejściu trzeciego kanału K3 w pewnym momencie przekracza zakres pomiarowy przetwornika analogowo-cyfrowego 111 i mikroprocesorowy układ pomiarowy 110 wykrywając taką sytuację monitoruje sygnał z wejścia drugiego kanału K2 oczekując na jego ustabilizowanie. Gdy sygnał drugiego kanału K2 ustabilizuje się, mikroprocesorowy układ pomiarowy 110 wykonuje jego pomiar i na tej podstawie dokonuje obliczenia i ustawienia wzmocnienia wzmacniacza regulowanego 109, w pamięci nieulotnej zapamiętuje nastawę wzmocnienia i wyłącza zasilanie cewki ustawiając na wyjściu sterującym zasilaniem OUT stan niski L. Kiedy sygnał na wejściu trzeciego kanału K3 spadnie do około 0 V, to mikroprocesorowy układ pomiarowy 110 łączy ponownie zasilanie cewki 10 ustawiając wyjście sterujące zasilaniem OUT w stan wysoki H, który powoduje załączenie tranzystora 101 załączającego zasilanie i przepływ prądu przez cewkę oraz przez rezystor pomiarowy 102, na którym spadek napięcia jest proporcjonalny do natężenia prądu, to napięcie jest podawane na filtr dolnoprzepustowy 104, a następnie do wejścia drugiego kanału K2 przetwornika analogowo-cyfrowego 111 i do wejścia wzmacniacza regulowanego 109, który ma teraz ustawioną nową mniejszą wartość wzmocnienia. Wzmocniony sygnał ze wzmacniacza podawany jest do wejścia trzeciego kanału K3 przetwornika ADC 111.

Na Fig. 2B przedstawiono przebieg sygnałów, gdy do układu podłączono cewkę o dużo mniejszej mocy (mniejszym natężeniu prądu) niż przy poprzednim załączeniu. Mikroprocesorowy układ pomiarowy 110 dostając przez interfejs IO-Link rozkaz załączenia elektrozaworu, ustawia wyjście sterujące zasilaniem OUT w stan wysoki H, co powoduje załączenie tranzystora 101 załączającego zasilanie i przepływ prądu przez cewkę, który to prąd powoduje spadek napięcia na rezystorze pomiarowym 102 (napięcie w punkcie 100C) proporcjonalne do natężenia prądu. Napięcie to po odfiltrowaniu zakłóceń w filtrze dolnoprzepustowym 104, podawane jest do wejścia drugiego kanału K2 przetwornika analogowo-cyfrowego 111, oraz do wejścia wzmacniacza regulowanego 109, a następnie sygnał ze wzmacniacza podawany jest do wejścia trzeciego kanału K3 przetwornika analogowo-cyfrowego 111. Ponieważ ustawione jest małe wzmocnienie we wzmacniaczu 109, sygnał na

wejściu trzeciego kanału K3, po ustabilizowaniu się, jest poniżej dolnego limitu LIMIT-MIN, co sygnalizuje konieczność zwiększenia wzmocnienia we wzmacniaczu 109. Mikroprocesorowy układ pomiarowy 110 wykonuje jego pomiar i używa go do obliczenia nowej wartości wzmocnienia, a następnie ustawia nowe wzmocnienia wzmacniacza regulowanego 109, a w pamięci nieulotnej zapamiętuje nastawę wzmocnienia i wyłącza zasilanie cewki, ustawiając na wyjściu sterującym zasilaniem OUT stan niski L. Kiedy sygnał na wejściu trzeciego kanału K3 spadnie do około 0 V, mikroprocesorowy układ pomiarowy 110 łączy ponownie zasilanie cewki ustawiając wyjście sterujące zasilaniem OUT w stan wysoki H, który powoduje załączenie tranzystora 101 łączącego zasilanie i przepływ prądu przez cewkę oraz przez rezystor pomiarowy 102 na którym spadek napięcia jest proporcjonalny do natężenia prądu, to napięcie jest podawane na filtr dolnoprzepustowy 104, a następnie do wejścia drugiego kanału K2 przetwornika analogowo-cyfrowego 111 i do wejścia wzmacniacza regulowanego 109, który ma teraz ustawioną nową większą wartość wzmocnienia. Wzmocniony sygnał ze wzmacniacza podawany jest do wejścia trzeciego kanału K3 przetwornika analogowo-cyfrowego 111.

Przy pierwszym uruchomieniu (dla fabrycznie nowego urządzenia), ustawiana jest średnia wartość wzmocnienia wzmacniacza na wyjściu sygnału wzmocnienia GAIN i łączone zostaje zasilanie cewki 10. Zmierzone w drugim kanale K2 i trzecim kanale K3 przez przetwornik analogowo-cyfrowy 111 natężenie prądu statycznego cewki w stanie ustalonym po załączeniu wykorzystywane jest do określania optymalnego wzmocnienia dla wzmacniacza regulowanego 109, a wartość tego wzmocnienia zapamiętywana jest w pamięci nieulotnej mikroprocesorowego układu pomiarowego 110. Tak ustawione autonomicznie wzmocnienie umożliwia optymalny pomiar charakterystyki natężenia prądu cewki 10 w czasie, przy kolejnych uruchomieniach (załączeniach cewki). W przypadku, gdy podczas kolejnych załączeń prąd statyczny cewki będzie w górnej części zakresu pomiarowego (przykładowo, powyżej wartości LIMIT-MAX równej 80% wartości zakresu pomiarowego) lub w dolnej części zakresu pomiarowego (przykładowo, poniżej wartości LIMIT-MIN równej 20% wartości zakresu pomiarowego) przetwornika analogowo-cyfrowego 111 w trzecim kanale K3, mikrokontroler koryguje taki stan poprzez zmianę wartości sygnału wzmocnienia GAIN wzmacniacza regulowanego 109, a wynik korekcji tj. nowa jego wartość sygnału wzmocnienia GAIN jest zapamiętywana w pamięci nieulotnej.

Taki mechanizm umożliwia wymianę cewek na ten sam typ lub inny (cewki o innym poborze prądu w stanie ustalonym zgodne z mechaniką i wtyczką zasilania cewki elektrozaworów) bez konieczności uciążliwej obsługi serwisowej polegającej na wpisywaniu nowych ustawień do pamięci mikrokontrolera dla prawidłowego działania, choć taką funkcjonalność „z zewnątrz” zapewnia interfejs zintegrowanego w pakiecie elektroniki modułu IO-link. Ponadto, wymiana cewek nie wymaga zmian fizycznych w pakiecie elektroniki zagnieżdżonym we wtyczce zasilania cewki ze względu na fakt iż nie wymaga to konieczności stosowania różnych boczników w układzie pomiarowym natężenia prądu cewki.

Przykładową konstrukcję wtyczki zasilania cewki przedstawia Fig. 3. Elementy układu przedstawionego na Fig. 1 są zamontowane na płycie PCB 303, która umieszczona jest w obudowie 301, 302.

Działanie algorytmu oceny natężenia prądu cewki przedstawia Fig. 4. Po załączeniu tranzystora 101 łączącego zasilanie w etapie 0 (sygnał zasilający OUT ustawiony na stan wysoki H), algorytm oczekuje aż sygnał na wejściu trzeciego kanału K3 przetwornika analogowo-cyfrowego 111 przekroczy próg wartości minimalnej I_{MIN} , po przekroczeniu którego, w etapie 1 badane jest nachylenie charakterystyki krzywej natężenia prądu. Gdy nachylenie krzywej, którego reprezentację stanowi kąt α , będzie poziome (tj. kąt α równy 0 lub 180 stopni), zapamiętywana jest wartość I_2 sygnału na wejściu trzeciego kanału K3. Na podstawie wartości I_2 wyliczane są parametry uwzględniane w dalszej części algorytmu (α_{min} , ΔI , I_s). Następnie algorytm bada, czy nachylenie α będzie mniejsze niż minimalne nachylenie α_{min} i gdy tak jest, przechodzi do etapu 2. W etapie 2 kontynuowane jest badanie nachylenia charakterystyki do momentu, kiedy kierunek charakterystyki zmieni się z opadającej na rosnącą, od tego momentu sprawdzany jest przyrost wartości sygnału na wejściu trzeciego kanału K3, gdy przekroczy on wartość graniczną przyrostu ΔI , algorytm przechodzi do etapu 3. W etapie 3 algorytm czeka na ustabilizowanie się natężenia prądu, to znaczy sprawdza, czy różnica między maksymalną i minimalną wartością natężenia prądu, w czasie stabilizacji T_s z ostatnich pomiarów była mniejsza niż wartość stabilizacji I_s . Gdy wykryte zostanie ustabilizowanie się natężenia prądu, algorytm przechodzi do etapu 4, który informuje o prawidłowym załączeniu elektrozaworu. Jeśli nie zostanie wykryte prawidłowe załączenie elektrozaworu w określonym czasie załączenia T_z , przykładowo w czasie 500 ms, tzn. jeśli czas liczony od etapu 1 do etapu 4 przekroczy przykładowe 500 ms lub etap 4 nie zostanie osiągnięty, to układ informuje o awarii elektrozaworu.

Przykładowe wartości parametrów I_{MIN} , α_{MIN} , ΔI_L , I_S , T_S oraz sposób ich obliczania na podstawie wartości I_2 , podano niżej. I_2 określone jest w procentach zakresu pomiarowego przetwornika ADC. Obliczone parametry (%) odnoszą się do zakresu pomiarowego przetwornika ADC:

$$I_{MIN} \approx 3\%$$

$$\alpha_{MIN} \approx -\frac{45^\circ}{\tan\left(\frac{I_2}{2}\right)} \cdot 10 \frac{\%}{msek}$$

$$\Delta I_L \approx \frac{I_2}{2} \cdot 15\%$$

$$I_S \approx \frac{I_2}{2} \cdot 3\%$$

$$T_S \approx 5 \text{ milisekund}$$

Zastrzeżenia patentowe

- Urządzenie do monitorowania pracy elektrozaworu, zawierające:
 - układ zasilania cewki elektrozaworu, zawierający szeregowo połączone ze źródłem zasilania zaciski do przyłączenia cewki, tranzystor załączający zasilanie i rezystor pomiarowy;
 - mikroprocesorowy układ pomiarowy przystosowany do monitorowania natężenia prądu zasilania pobieranego przez cewkę w trakcie jej załączania poprzez pomiar napięcia na rezystorze pomiarowym i do sterowania tranzystorem załączającym zasilanie;**znamiennie tym**, że:
 - mikroprocesorowy układ pomiarowy (110):
 - zawiera przetwornik analogowo-cyfrowy (111) zawierający kanał (K2) pomiaru pobieranego prądu połączony do rezystora pomiarowego (102) oraz kanał (K3) wzmocnionego pomiaru pobieranego prądu przyłączony do kanału (K2) pomiaru pobieranego prądu za pośrednictwem wzmacniacza regulowanego (109);
 - jest przystosowany do:
 - wyłączenia tranzystora (101) załączającego zasilanie po wykryciu napięcia na kanale (K2) pomiaru pobieranego prądu wartości przewyższającej wartość progową;
 - sterowania wzmocnieniem (GAIN) wzmacniacza regulowanego (109) tak aby sygnał na wejściu kanału (K3) wzmocnionego pomiaru pobieranego prądu był niższy od zakresu pomiarowego tego kanału (K3).
 - Urządzenie według zastrz. 1 **znamiennie tym**, że przetwornik analogowo-cyfrowy (111) zawiera ponadto kanał (K1) pomiaru napięcia zasilania przyłączony do rezystancyjnego dzielnika napięcia (105, 106) połączonego pomiędzy napięciem zasilania (2L+) a uziemieniem (GND), a mikroprocesorowy układ pomiarowy (110) jest przystosowany do monitorowania zakresu napięcia zasilania (2L+) i wahań napięcia w momencie załączania zasilania.
 - Urządzenie według dowolnego z wcześniejszych zastrzeżeń **znamiennie tym**, że kanał (K2) pomiaru pobieranego prądu połączony jest do rezystora pomiarowego (102) za pośrednictwem filtra dolnoprzepustowego (104).
 - Urządzenie według dowolnego z wcześniejszych zastrzeżeń **znamiennie tym**, że mikroprocesorowy układ pomiarowy (110) zawiera ponadto interfejs wejścia/wyjścia (112) przystosowany do odbioru parametru określającego wartość wzmocnienia (GAIN) wzmacniacza regulowanego (109).
 - Urządzenie według dowolnego z wcześniejszych zastrzeżeń **znamiennie tym**, że mikroprocesorowy układ pomiarowy (110) jest ponadto przystosowany do sterowania wzmocnieniem (GAIN) wzmacniacza regulowanego (109) tak aby sygnał na wejściu kanału (K3) wzmocnionego pomiaru pobieranego prądu był wyższy od progowej wartości minimalnej (LIMIT-MIN).
 - Urządzenie według dowolnego z wcześniejszych zastrzeżeń **znamiennie tym**, że mikroprocesorowy układ pomiarowy (110) jest ponadto przystosowany do sterowania wzmocnieniem

- (GAIN) wzmacniacza regulowanego (109) tak aby sygnał na wejściu kanału (K3) wzmocnionego pomiaru pobieranego prądu był niższy od progowej wartości maksymalnej (LIMIT-MAX).
7. Urządzenie według zastrz. 6 **znamiennie tym**, że mikroprocesorowy układ pomiarowy (110) jest ponadto przystosowany do sterowania wzmocnieniem (GAIN) wzmacniacza regulowanego (109) tak aby sygnał na wejściu kanału (K3) wzmocnionego pomiaru pobieranego prądu po ustabilizowaniu się natężenia prądu cewki był jak najbliżej progowej wartości maksymalnej (LIMIT-MAX).
 8. Urządzenie według dowolnego z wcześniejszych zastrzeżeń **znamiennie tym**, że ma układy umieszczone na płycie PCB (303) obudowanej wtyczką (301, 302) przystosowaną do przyłączenia zasilania do elektrozaworu.
 9. Sposób monitorowania pracy elektrozaworu, **znamiennie tym**, że:
 - podłącza się do cewki urządzenie zgodne z dowolnym z zastrzeżeń 1–8;
 - łączy się (etap 0) zasilanie tranzystora (101) łączącego zasilanie;
 - oczekuje się aż sygnał na wejściu kanału (K3) wzmocnionego pomiaru pobieranego prądu przekroczy próg wartości minimalnej (I_{MIN});
 - bada się (etap 1) nachylenie (α) charakterystyki kanału (K3) wzmocnionego pomiaru pobieranego prądu i zapamiętuje się wartość sygnału (I_2) tego kanału (K3) przy dojściu nachylenia (α) do poziomu i na podstawie tej wartości (I_2) określa się wartości minimalnego nachylenia (α_{MIN}), wartość graniczną przyrostu (ΔI) i wartość stabilizacji (I_s);
 - gdy nachylenie (α) spadnie do wartości poniżej minimalnego nachylenia (α_{MIN}), kontynuuje się (etap 2) badanie nachylenia (α) do momentu kiedy kierunek nachylenia (α) zmieni się z opadającego na rosnące i od tego momentu sprawdza się jest przyrost wartości sygnału tego kanału (K3) i gdy przekroczy on wartość graniczną przyrostu (ΔI) oczekuje się (etap 3) na ustabilizowanie się wartości natężenia prądu gdy różnica między maksymalną i minimalną wartością, w określonym czasie stabilizacji (T_s) będzie mniejsza niż wartość stabilizacji (I_s);
 - informuje się (4) o prawidłowym załączeniu elektrozaworu jeśli wartość natężenia prądu ustabilizuje się w określonym końcowym czasie stabilizacji (T_s) i ustabilizowanie natężenia prądu nie nastąpi później niż dopuszczalny całkowity czas załączenia (T_z) od przekroczenia progu wartości minimalnej (I_{MIN}); oraz
 - informuje się o awarii elektrozaworu jeśli wartość natężenia prądu nie ustabilizuje się przed upływem określonego czasu załączenia (T_z) od przekroczenia progu wartości minimalnej (I_{MIN}).

Rysunki

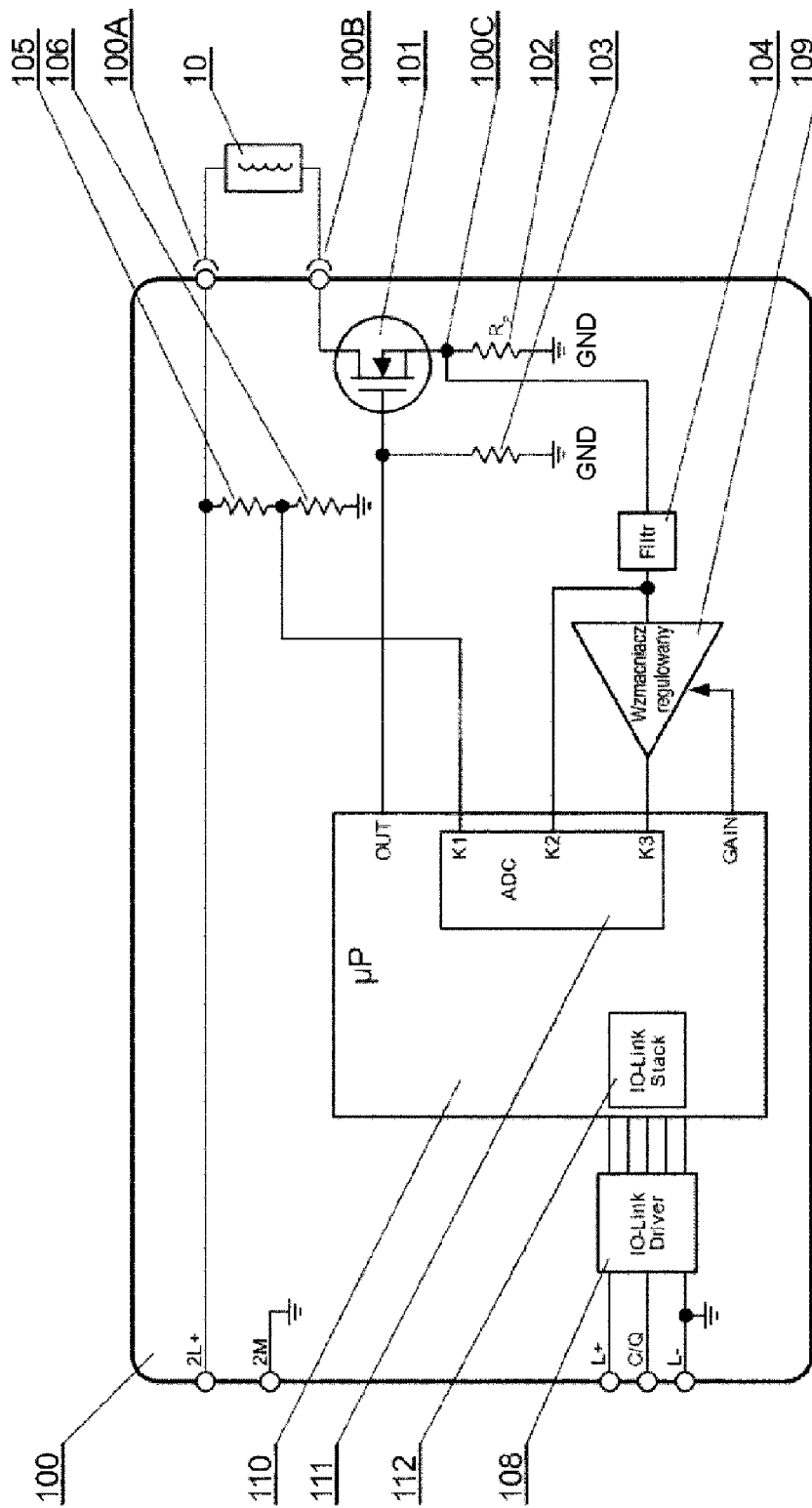


Fig. 1

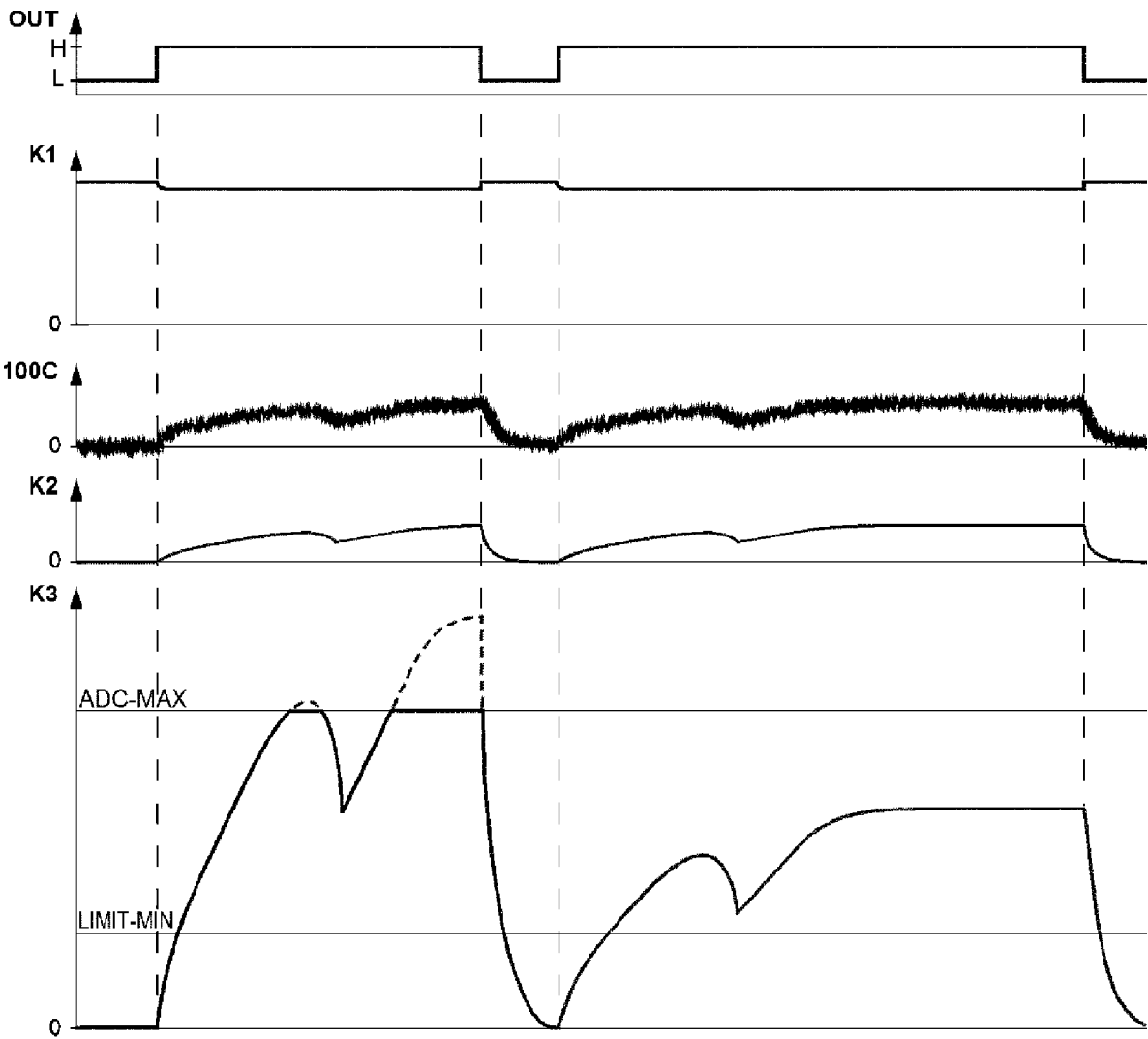


Fig. 2A

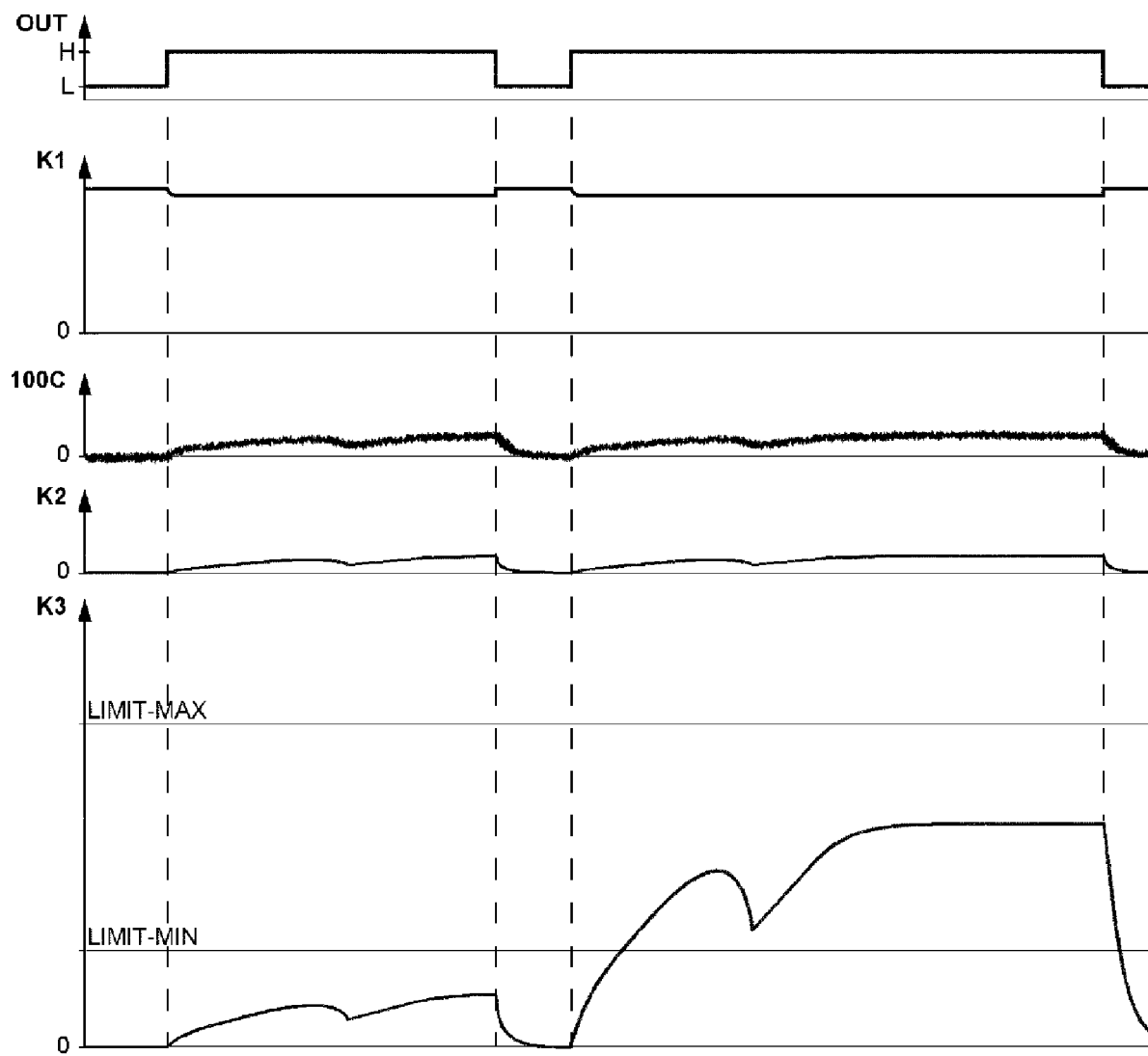


Fig. 2B

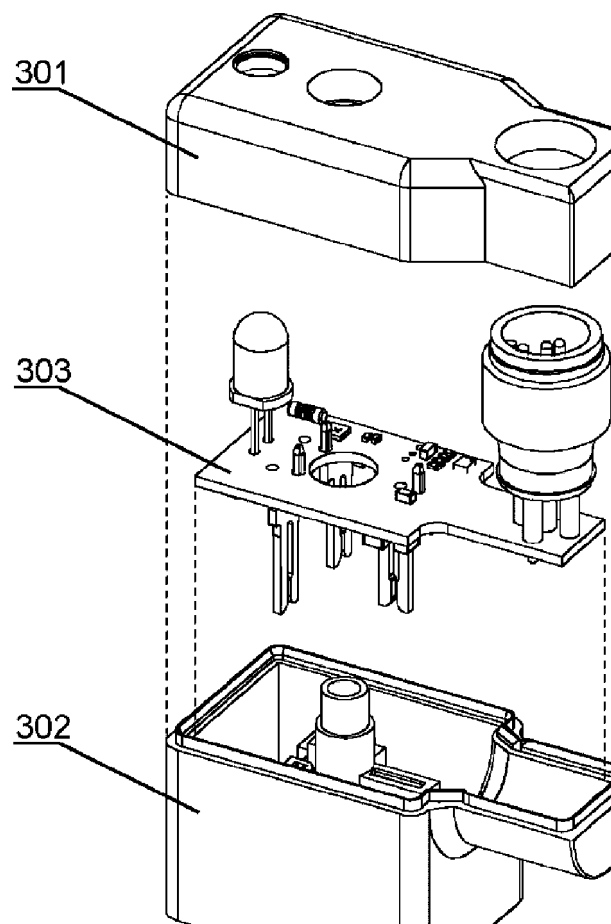


Fig. 3

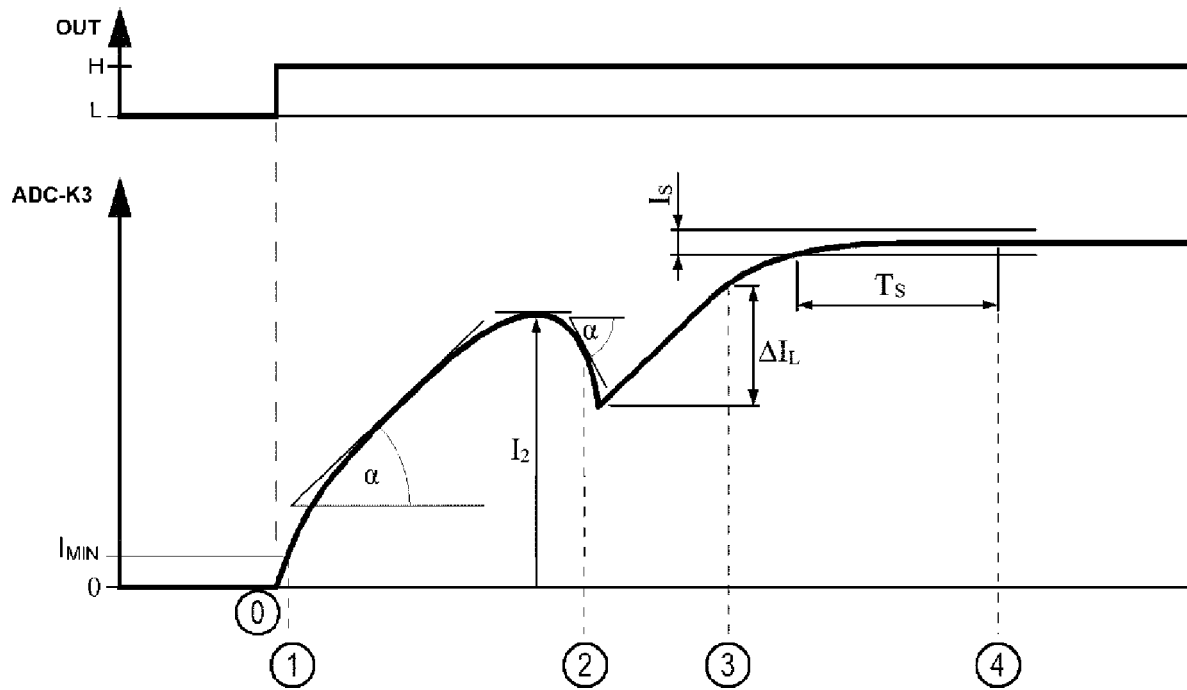


Fig. 4